

AN: PAT 1981-60966D  
TI: Heat resistant machine component having frame sprayed  
surface layer of iron alloy and ceramic oxide composite  
PN: GB2069009-A  
PD: 19.08.1981  
AB: Heat resistant machine component comprises a core body of  
heat resistant material, opt. at least one intermediate layer  
and a surface layer sprayed thereon and comprising a composite  
material with a porosity of up to 8 vol.%. The composite  
consists of an alloy contg. 1-12 (3-8)% Al, 10-30% Cr, small  
quantities of one or more of Si, Mn, Co, Y and Hf, balance Fe,  
mixed with a minor quantity of an oxide component contg. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
and opt. one or more oxides of the remaining metals of the  
alloy component, wherein the pores and the oxide component form  
elongate narrow regions which partly surround or cover the  
alloy component. The surface layer exhibits good resistance to  
high temps. even subject to large variations, good oxidn.  
resistance and erosion resistance even in presence of corrosive  
gases, and excellent strength when loaded statically or  
dynamically, esp. at heavy vibration.;  
PA: (BULK ) BULTEN KANTHAL AB;  
IN: SCHREWELIU N G;  
FA: GB2069009-A 19.08.1981; **CH646461**-A 30.11.1984;  
DE3103129-A 24.12.1981; FR2474533-A 31.07.1981;  
GB2069009-B 28.11.1984; JP56119766-A 19.09.1981;  
SE8000750-A 31.08.1981; US4429019-A 31.01.1984;  
CO: CH; DE; FR; GB; JP; SE; US;  
IC: B05D-001/10; B22F-007/00; B32B-015/02; B32B-015/18;  
B32B-033/00; C22C-001/04; C22C-019/05; C22C-038/18;  
C23C-005/00; C23C-007/00; C23F-015/00; F01D-005/18;  
F02C-007/30;  
MC: M13-C; M27-A; M27-A00A; M27-A00C;  
DC: M13; M26; P42; P53; P73; Q51; Q52;  
PR: SE0000750 30.01.1980;  
FP: 31.07.1981  
UP: 30.11.1984

---



Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein  
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑪

646 461

⑳ Gesuchsnummer: 1420/81

⑦③ Inhaber:  
Bulten-Kanthal AB, Hallstahammar (SE)

㉔ Anmeldungsdatum: 03.03.1981

⑦② Erfinder:  
Schrewelius, Nils G., Hallstahammar (SE)

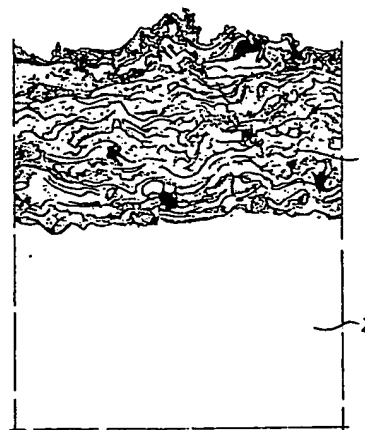
㉔ Patent erteilt: 30.11.1984

④⑤ Patentschrift  
veröffentlicht: 30.11.1984

⑦④ Vertreter:  
E. Blum & Co., Zürich

⑤④ Thermisch belastbares Maschinenteil und Verfahren zu dessen Herstellung.

⑤⑦ Es wird ein thermisch belastbares Maschinenteil, z.B. eine Gasturbinenschaufel zur Verwendung in einer Heissgasatmosphäre insbesondere unter dynamischer mechanischer Beanspruchung beschrieben. Das Maschinenteil umfasst einen Kernkörper (2) aus einem warmfesten Material und eine darauf aufgesprühte Oberflächenschicht (1) aus einem zusammengesetzten Material. Das zusammengesetzte Material besteht einerseits aus einem Legierungsbestandteil mit 1 bis 12% Al, vorzugsweise 3 bis 8% Al, 10 bis 30% Cr, geringen Anteilen eines oder mehrerer Elemente aus der Gruppe Si, Mn, Co, Y und Hf sowie restlichem Eisen und andererseits aus einer geringen Menge eines Oxidbestandteils aus  $Al_2O_3$  sowie gegebenenfalls einem oder mehreren Oxiden der übrigen Metalle des Legierungsbestandteils, wobei die Poren und der Oxidbestandteil längliche, schmale Zonen bilden, welche den Legierungsbestandteil teilweise umgeben oder bedecken. Die Oberflächenschicht wird mittels Flamm- oder Lichtbogensprühung unter einer geringen, gesteuerten Oxidation aufgesprüht.



## PATENTANSPRÜCHE

1. Thermisch belastbares Maschinenteil, beispielsweise Austrittsschaufel oder Leitschaufel einer Gasturbine, zur Verwendung in einer Heissgasatmosphäre, mit einem aus warmfestem Material bestehenden Kernkörper und einer Oberflächenschicht aus einer Eisen-Chrom-Aluminium-Legierung, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberflächenschicht aus einem zusammengesetzten Material mit einer Porosität bis zu 8 Vol.-% besteht und einerseits einen Legierungsbestandteil mit 1 bis 12% Aluminium, 10 bis 30% Chrom, geringen Anteilen eines oder mehrerer Elemente aus der Gruppe Si, Mn, Co, Y und Hf, sowie restlichem Eisen und andererseits einen kleineren Anteil eines Oxidbestandteils aus  $Al_2O_3$  aufweist, wobei die Poren und der Oxidbestandteil längliche, schmale Zonen bilden, welche den Legierungsbestandteil teilweise umgeben oder bedecken.

2. Maschinenteil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die länglichen, schmalen Zonen wellenförmig ausgebildet sind und sich in Haupttrichtung im wesentlichen parallel zur Oberfläche der Oberflächenschicht erstrecken.

3. Maschinenteil nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Oxidbestandteil der Oberflächenschicht bis zu 5 Vol.-% ausmacht.

4. Maschinenteil nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Porosität der Oberflächenschicht 1 bis 4 Vol.-% ausmacht.

5. Maschinenteil nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke der Oberflächenschicht wenigstens 0,15 mm beträgt.

6. Maschinenteil nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke der Oberflächenschicht 0,3 bis 3,0 mm beträgt.

7. Maschinenteil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Kernkörper und der Oberflächenschicht zumindest eine Zwischenschicht liegt.

8. Maschinenteil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Legierungsbestandteil der Oberflächenschicht 3 bis 8% Aluminium aufweist.

9. Maschinenteil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Oxidbestandteil der Oberflächenschicht ausser dem  $Al_2O_3$  noch ein oder mehrere Oxide der übrigen Metalle des Legierungsbestandteiles aufweist.

10. Verfahren zum Herstellen des Maschinenteils nach Anspruch 1, bei dem die Oberflächenschicht, die im wesentlichen aus einer Eisen-Chrom-Aluminium-Legierung besteht, auf einen aus warmfestem Material bestehenden Kernkörper aufgesprüht wird, dadurch gekennzeichnet, dass das Aufsprühen der Oberflächenschicht mittels Flamm- oder Lichtbogensprühung von einer Legierung erfolgt, welche aus 1 bis 12% Aluminium, 10 bis 30% Chrom, geringen Anteilen eines oder mehrerer Elemente aus der Gruppe Si, Mn, Co, Y und Hf sowie restlichem Eisen besteht, wobei der Sprühvorgang unter einer geringen, gesteuerten Oxidation erfolgt, derart, dass einerseits eine Oberflächenschicht mit bis zu 8 Vol.-% Poren und mit einem Legierungsbestandteil der genannten Zusammensetzung und andererseits ein geringer Anteil eines Oxidbestandteils aus  $Al_2O_3$  gebildet wird, und wobei die Poren und der Oxidbestandteil längliche, schmale Zonen bilden, welche den Legierungsbestandteil teilweise umgeben oder bedecken.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Legierung in Form eines Gespinstes ausgebildet ist.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Gespinstfaserdurchmesser 1,5 bis 5 mm, vorzugsweise 2,0 bis 2,5 mm beträgt.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberfläche der Oberflä-

chenschicht nach dem Sprühvorgang fertig bearbeitet wird, derart, dass eine geringere Oberflächenrauigkeit erzielt wird.

5

Die Erfindung bezieht sich auf ein thermisch belastbares Maschinenteil sowie auf ein Verfahren zu dessen Herstellung gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bzw. 10. Ein derartiges Maschinenteil kann beispielsweise die Austritts- oder Leitschaufel einer Gasturbine sein und dient zum Einsatz in einer Heissgasatmosphäre insbesondere unter dynamischer mechanischer Beanspruchung.

15 Gasturbinenteile sind im Betrieb einer extrem hohen Belastung ausgesetzt, die durch das Zusammenwirken der durch die hohen Gasdrucke und Drehzahlen erzeugten mechanischen Kräfte einerseits und der erhöhten und sich rasch ändernden Temperaturen andererseits bedingt ist. Zur Erzielung immer höherer Wirkungsgrade müssen die beteiligten Werkstoffe dieser Belastung standhalten und damit gegenüber hohen Temperaturen, Korrosions- sowie Erosionseinflüssen beständig sein.

Der vorstehend genannten Forderung steht zunächst entgegen, dass die Hochtemperaturfestigkeit der auf Stahl, Nickel und Kobalt basierenden klassischen Werkstoffe ab 850 bis 900°C drastisch abnimmt. Damit scheiden diese Werkstoffe für Einsatzzwecke oberhalb dieser Temperaturgrenze grundsätzlich aus und können als solche auch nicht wesentlich für den genannten Zweck verbessert werden.

Aus den erwähnten Gründen wurde nach anderen Wegen gesucht, um einen Werkstoff für einen Einsatz bei diesen höheren Temperaturen oberhalb 850 bis 900°C zu finden. Ein bekanntes Beispiel für ein solches thermisch belastbares Material ist das sogenannte «Cermet» (ein Cermetal), was ein äusserst zerbrechlicher Metall-Keramik-Werkstoff ist, dessen keramische Phase im wesentlichen aus zerbrechlichen Karbiden oder Oxiden besteht. Des weiteren besitzen bestimmte Molybdänlegierungen eine Temperaturfestigkeit bis zu 1200°C. Während jedoch Cermetalle von Natur aus spröde sind, sind Molybdänlegierungen nicht in ausreichendem Masse oxidationsbeständig und können diesbezüglich auch nicht durch Legierungstechniken verbessert werden.

Die dargelegte Schwierigkeit bei der Suche nach einem Werkstoff mit den gewünschten Hochtemperatureigenschaften hat in jüngster Zeit dazu geführt, dass die beanspruchte Materialoberfläche mit einer Schutzschicht versehen wird, welche auf verschiedene Weise, beispielsweise durch mechanisches Plattieren, Diffusion, chemisches Plattieren, elektrolytisches Plattieren, Tauchbaden, Sprühen und Emaillieren hergestellt werden kann.

Zum Schutz von Gasturbinen bei hohen Temperaturen ist speziell vorgeschlagen worden, durch Aufsprühen beispielsweise von Zirkoniumoxid verschiedene Hochtemperaturmäntel herzustellen. Wie aus dem Vortrag «ZrO<sub>2</sub> coatings on Nimonic alloys» von J.M. Nijpjes auf dem 6. Plansee-Seminar 1968 über Hochtemperaturmaterialien (Tagungsbericht Seite 481 ff.) hervorgeht, bestand das gesetzte Ziel darin, die Betriebstemperatur einer industriellen Gasturbine von etwa 1200°C auf etwa 1400°C zu steigern. Als Ausgangswerkstoff wurde Nimonic 115 verwendet (Nimonic ist eine Warenbezeichnung für eine Legierung aus 18% Cr, 5,2% Mo, 2,3% Ti, 0,8% Al, 38% Ni und Rest Eisen), was eines der am stärksten auf Nickelbasis legierten vorhandenen Werkstoffe darstellt. Die maximale Temperatur für diese Legierung beträgt 1000°C, so dass sie für einen Einsatz bei höheren Temperaturen geschützt werden muss.

Nach dem letztgenannten Vorschlag wurde eine etwa 1 mm starke Zirkoniumoxid-Schicht durch Sprühen (zunächst durch Plasmasprühen und dann durch Flammgesprühen) auf den Ausgangswerkstoff aufgebracht. Bei dieser Sprühfolge erweist sich die Porosität der flammgesprühten Schicht höher als die der plasmagesprühten Schicht. Der Verfasser weist eigens darauf hin, dass die 1 mm starke Zirkoniumoxidschicht die Konstruktion von Gasturbinen mit einer Eintrittstemperatur zwischen 1200 und 1400°C gestatte, es jedoch Schwierigkeiten aufgrund der rauen Oberfläche und der Porosität der Oxidschicht gäbe.

In der gleichen Literaturstelle berichtet J.D. Gadd in dem Aufsatz «Corrosion resistant coating for refractory metals and super-alloys» (Seite 803) u.a. über eine Vakuumdiffusion von Aluminium in Nickellegierungen. Während dieses Prozesses wird in erster Linie  $\beta$ -NiAl gebildet.

Eine weitere Möglichkeit zum Beschichten einer Turbinenschaufel besteht in der Vakuumbeschichtung, wie auf Seite 854 der gleichen Literaturstelle von A.M. Shroff in dem Aufsatz «Vapor deposition on refractory metals» ausgeführt ist. Die bei diesem Verfahren aufgetragenen Schichten sind sehr dünn und zeigen andererseits eine hohe Dichte von 98,5 bis 99% des theoretisch erzielbaren Wertes 1, so dass sie gasdicht gemacht werden können.

Des weiteren ist in der SW-OS 345 146 vom 15.05.1972 die Herstellung dünner Schichten mittels Vakuumbeschichtung beschrieben. Die dort erwähnte Oberflächenschicht besteht aus 20 bis 50% Cr, 10 bis 20% Al, 0,03 bis 2% Y (oder einer oder mehrerer der seltenen Erden) und restlichem Eisen. Die Schichtstärke ist sehr gering (etwa 0,07 mm), wodurch die Oberflächenschicht nicht in der Lage ist, stets das beschichtete Maschinenteil ausreichend gegen Wärmeschocks zu schützen. Ferner neigt das in der Oberflächenschicht enthaltene Aluminium zum Diffundieren in das Trägermaterial, so dass die Schutzwirkung dieser Schicht zeitlich begrenzt ist. Um eine annehmbare Schutzdauer zu gewährleisten, muss der Al-Anteil bei wenigstens 10 Gew.-% und darüber liegen, beispielsweise bei 12 bis 14 Gew.-%.

Im Gegensatz dazu bezieht sich die vorliegende Erfindung auf das Aufbringen einer Schutzschicht durch sogenanntes thermisches Sprühen. Es wurde bereits vorgeschlagen, eine Schicht der Zusammensetzung Ni-Cr-B, Ni-Si-B oder Al-Si-Cr zu sprühen. Derartige Schutzschichten sind zwar duktil und mechanisch schlagfest, doch besitzen sie einen geringen Wärmeleitungswiderstand. Ferner weisen diese Schichten eine geringe Erosionsfestigkeit auf, während sie wiederum eine Oxidationsbeständigkeit bis mindestens 1000–1100°C besitzen können.

In der De-PS 2 842 848 vom 19.04.1979 ist ferner der Vorschlag gemacht worden, zur Erhöhung der Oxidationsbeständigkeit von Super-Legierungen eine Schicht der Zusammensetzung M-Cr-Al-Y aufzusprühen, wobei M ein Element aus der Gruppe Ni, Co und Fe ist und eine bevorzugte Zusammensetzung 10 bis 40% Cr, 8 bis 30% Al sowie 0,1 bis 5% Y bei 5 bis 85% verteilten Chromkarbidteilchen aufweist. Eine durch Plasmasprühen aufgetragene Schicht blieb 500 Stunden lang bei einer Temperatur von 927°C bruchfrei. Schliesslich ist in der US-PS 4 145 481 vom 20.03.1979 eine mittels heiss-isostatischem Pressen hergestellte Schicht für beispielsweise eine Gasturbine beschrieben. Auch hier ist eine Schicht der Zusammensetzung Co-Cr-Al-Y angegeben, die mittels Plasmasprühen aufgebracht wird.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein thermisch belastbares Maschinenteil sowie ein Herstellungsverfahren hierfür zu schaffen, welches auch bei grossen Temperaturschwankungen eine gute Beständigkeit gegenüber hohen Temperaturen, eine gute Oxidations- und Erosionsbeständigkeit selbst bei Anwesenheit stark korrosiver Gase

sowie eine ausgezeichnete Festigkeit sowohl bei statischer als auch dynamischer Belastung, insbesondere starken Schwingungen aufweist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 (Maschinenteil) bzw. 10 (Verfahren) gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen des Maschinenteils gemäss Anspruch 1 ergeben sich aus den Ansprüchen 2 bis 9.

Wie aus den Verfahrensansprüchen 10 bis 13 hervorgeht, erfolgt die Herstellung des erfindungsgemässen Maschinenteils in bevorzugter Weise durch Flamm- oder Lichtbogensprühung einer Legierung der erfindungsgemässen Zusammensetzung, vorzugsweise in Form eines Gespinstes. Ferner kann durch anschliessende mechanische Behandlung der Oberflächenschicht, z.B. durch Schleifen oder Polieren, die Korrosionsbeständigkeit noch weiter erhöht werden.

Die zur Bildung der Oberflächenschicht bei dem erfindungsgemässen Maschinenteil verwendete Materialzusammensetzung umfasst sowohl einen Legierungsbestandteil als auch eine kleinere Menge eines Oxidbestandteils. Der Legierungsbestandteil umfasst (in Gew.%) 1 bis 12% Al, vorzugsweise 3 bis 8% Al, 10 bis 30% Cr, geringe Mengen eines oder mehrerer Elemente aus der Gruppe Si, Mn, Co, Y und Hf sowie restliches Eisen, wohingegen der Oxidbestandteil  $Al_2O_3$  sowie gegebenenfalls ein oder mehrere Oxide der übrigen Metalle des Legierungsbestandteils aufweist.

Der Oxidbestandteil der Oberflächenschicht sollte nicht über etwa 5 Vol.-% hinausgehen, während die Porosität der Oberflächenschicht nicht mehr als 8%, vorzugsweise 1 bis 4% betragen sollte.

Die Struktur der Oberflächenschicht ergibt sich aus der beigefügten Abbildung, welche ein Mikroskopbild einer zusammengesetzten Schicht 1 zeigt, die auf einen aus einer Fe-Cr-Ni-Legierung bestehenden Kernkörper 2 aufgesprüht wurde. Die Vergrösserung des Mikroskopbildes beträgt etwa das 120fache. Die Poren und der Oxidbestandteil der Oberflächenschicht bilden längliche, wellenförmige, schmale Zonen (entsprechend den geschwärzten Linien auf dem Mikroskopbild), welche im wesentlichen parallel zu der Berührungsfläche zwischen der Schicht 1 und dem Kernkörper 2 bzw. der Oberfläche der Schicht 1 verlaufen, derart, dass sie den Legierungsbestandteil teilweise umgeben oder bedecken. Die Stärke dieser Zonen beträgt bis zu maximal 2  $\mu$ m und liegt normalerweise bei etwa 0,1 bis 0,5  $\mu$ m.

Bislang strebte man bei der Beschichtung von Gasturbinenschaufeln mit Fe-Cr-Al-Legierungen beispielsweise mittels Vakuumbeschichtung an, sehr dünne Oberflächenschichten zu erzielen. Erfindungsgemäss wird jedoch vorgeschlagen, dass die Oberflächenschutzschicht mit verhältnismässig grosser Dicke aufgesprüht wird, nämlich zumindest mit 0,15 mm, vorzugsweise 0,3 bis 3,0 mm (die restliche Stärke nach einer gegebenenfalls vorgenommenen mechanischen Oberflächenbehandlung). Diese Massnahme führt zu einem Wärmeschild, da die Oberflächenschicht eine geringere Wärmeleitfähigkeit besitzt als die warmfeste Legierung, welche normalerweise den Kernkörper 2 bildet. Als Legierungsmaterialien kommen Chromstahl mit 13% Cr, Nickel-Chromstahl mit 18% Cr und 8% Ni, Legierungen der Warenbezeichnungen Nimonic 75, Hastelloy X, Inconel 600, Incoloy 800 und ähnliche Werkstoffe in Betracht. Der Wärmeschild schützt das Kernkörpermaterial gegen zu hohe Temperaturen sowie, was von grösster Bedeutung ist, gegen Wärmeschocks. Auf diese Weise dämpft der Wärmeschild rasche Temperaturänderungen, wobei Brüche infolge von thermischen Schocks in stärkerem Masse als bisher vermieden werden können. Der Wärmeschild ist ganz besonders wirksam, da die Wärmeleitfähigkeit der Oberflächenschicht in Oberflächenquerrichtung geringer ist als in der Verlaufs-

richtung, was sich aufgrund des wellenförmigen Aufbaus der zusammengesetzten Oberflächenschicht 1 ergibt und der Oberflächenschicht eine anisotrope Struktur verleiht, wie aus dem Mikroskopbild gut ersichtlich ist.

Eine ziemlich dicke Oberflächenschicht, wie dies erfindungsgemäss vorgesehen ist, besitzt ferner eine gute Absorptionsfähigkeit bezüglich Schwingungen, wodurch die dynamische Festigkeit noch weiter erhöht wird. Entsprechend gut ist auch die Geräuschkämpfung einer derartigen Dickschicht.

Der Sprühvorgang erfolgt auf an sich bekannte Weise mittels einer Flammprühvorrichtung oder einer Lichtbogenprühvorrichtung, wie sie beispielsweise in der SW-PS 7 807 523-1 beschrieben ist.

Vorzugsweise wird für den Legierungsbestandteil ein Gespinst der vorstehenden Zusammensetzung verwendet. Der Sprühvorgang erfolgt unter einer geringen, gesteuerten Oxidation unter Verwendung eines Treibgases wie z.B. Argon. Dabei bilden sich das zusammengesetzte Material und die die Legierungskristalle teilweise umgebenden Zonen spontan. Der Durchmesser der Gespinstfasern beträgt 1,5 bis 5 mm, vorzugsweise 2,0 bis 2,5 mm, wobei der jeweilige Wert unter Berücksichtigung der gewünschten Schichtdicke gewählt wird.

Falls das Maschinenteil sehr hohen Temperaturen ausgesetzt werden soll, sollte die aufgesprühte Oberflächenschicht mechanisch nachbehandelt werden, um eine möglichst glatte Oberfläche zu erzielen. Eine solche Behandlung kann durch Schleifen oder Polieren erfolgen, wobei normalerweise etwa 0,2 bis 0,3 mm Schichtdicke abgetragen werden. Wie bereits erwähnt wurde, sollte die restliche Schichtdicke der Oberflächenschicht 1 mindestens 0,15 mm betragen. Aufgrund der besseren Oberflächenglätte, nämlich maximal RA5, lässt sich eine gute Korrosions- und Erosionsbeständigkeit erzielen. Die Härte der Oberflächenschicht 1 liegt bei etwa 230 HB.

Zur Erzielung einer ausreichenden Haftung zwischen dem Kernkörper 2 und der Oberflächenschicht 1 ist es in manchen Fällen erforderlich, zuerst auf den Kernkörper 2 eine sehr

dünne Haftschrift beispielsweise aus Nickel-Aluminium oder Kupfer aufzusprühen und erst anschliessend die zusammengesetzte Oberflächenschicht aufzusprühen. Eine derartige Haft- oder Zwischenschicht wirkt ferner der Diffusion beispielsweise von Stickstoff und Aluminium zwischen die Oberflächenschicht 1 und den Kernkörper 2 entgegen. Bei zu grossem Unterschied im Wärmeausdehnungskoeffizienten des Kernkörpers 2 und der zusammengesetzten Oberflächenschicht 1 ist es in gleicher Weise günstig, durch Aufbringen zumindest einer Zwischenschicht einen sukzessiven Übergang zwischen den beschichteten und den Schichtmaterialien zu schaffen. Im dargestellten Beispielsfall haben der Kernkörper 2 und die Oberflächenschicht 1 annähernd gleiche Wärmeausdehnungskoeffizienten von  $19 \times 10^{-6}^{\circ}\text{C}$  bzw.  $14 \times 10^{-6}^{\circ}\text{C}$ , so dass dort eine Zwischenschicht nicht erforderlich ist.

Es hat sich gezeigt, dass die erfindungsgemäss beschichteten Körper in einer oxidierenden Atmosphäre bei Temperaturen bis zu etwa  $1350^{\circ}\text{C}$  korrosionsbeständig sind.

Mit Ausnahme von Gasturbinenschaufeln kann die Beschichtung mit Hilfe verschiedener Aufbringungsverfahren erfolgen. Es wurden praktische Versuche mit Beschichtungen in Verbrennungskammern von (Innen-)Verbrennungsmaschinen, mit Schutzschichten auf Molybdän-  
elektroden und mit Korrosionsschichten auf Gebläseschaufeln von Schmelzöfen erfolgreich durchgeführt. Der erfindungsgemäss hergestellte Werkstoff wurde ferner im Verdampfer eines Dampfkraftwerkes geprüft, wobei die Oberflächenschicht über einen Zeitraum von 7000 Stunden einer Atmosphäre mit 1000 ppm  $\text{SO}_2$  und einer Temperatur zwischen etwa  $800$  und  $900^{\circ}\text{C}$  ausgesetzt wurde. Die anschliessend gemessene Korrosionstiefe betrug lediglich  $50\text{ }\mu\text{m}$ .

Als Träger für die erfindungsgemässe Oberflächenschicht kann eine Vielzahl metallischer Werkstoffe verwendet werden, beispielsweise Weichstahl, Molybdän, Chromstahl, Chrom-Nickelstahl sowie folgende, mit ihrem Warennamen angegebene Werkstoffe: Kanthal, Nikrothal, Kanthal Super, Incoloy, Hastelloy, Invar, Nimonic, Inconel usw.

